

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-304708

(P2001-304708A)

(43) 公開日 平成13年10月31日 (2001. 10. 31)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

F 2 5 B 9/00

識別記号

3 1 1

F I

F 2 5 B 9/00

ターミナル\* (参考)

3 1 1

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-126375(P2000-126375)

(22) 出願日 平成12年4月26日 (2000. 4. 26)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 ローハナ チャンドラティラカ

神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株

式会社東芝浜川崎工場内

(72) 発明者 大谷 安見

神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株

式会社東芝浜川崎工場内

(74) 代理人 100078765

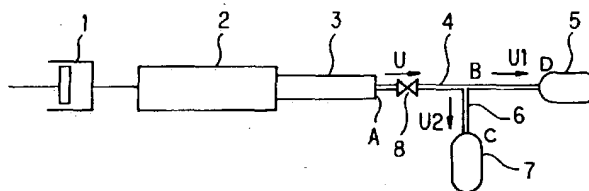
弁理士 波多野 久 (外1名)

(54) 【発明の名称】 パルス管冷凍機

(57) 【要約】

【課題】 パルス管冷凍機の中で特にイナータンスチューブ位相制御方式のパルス管冷凍機において、最適な位相制御と、最適なガス変位量を同時に満たし、冷凍効率の高いパルスチューブ冷凍機を提供する。

【解決手段】 蓄冷器2、パルス管3、バッファタンク5、バッファタンクとパルス管高温端とを結ぶイナータンスチューブ4、および冷媒ガスの周期的な圧力波形を作るコンプレッサ1で基本的に構成される。イナータンスチューブ4の途中に、バッファタンク5とは別のセカンドバッファタンク5を所定の内径および長さ、材質を持ったセカンドイナータンスチューブ6で接続する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブの途中からセカンドイナータンスチューブを分岐させるとともに、このセカンドイナータンスチューブに前記バッファタンクとは別のセカンドバッファタンクを接続したことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 2】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブの途中からセカンドイナータンスチューブを分岐させるとともに、このセカンドイナータンスチューブを前記バッファタンクに前記イナータンスチューブとは別経路として接続し、かつ前記セカンドイナータンスチューブに流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 3】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管および先端が閉塞したイナータンスチューブを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記イナータンスチューブの閉塞端との間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブの途中から、1 本又は 2 本以上の先端が閉塞した他のイナータンスチューブを分岐させたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 4】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブは、段階的にパルス管に近い側ほど断面積の小さい配管構成としたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 5】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブは、連続的にパルス管に近い側ほど断面積の小さいテーパ状の配管としたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 6】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管および先端が閉塞したイナータンスチューブを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記イナータンスチューブの閉塞端との間

で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブは、段階的または連続的にパルス管に近い側ほど断面積の小さい配管としたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 7】 コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記蓄冷器の高温端側と前記パルス管の高温端側とをダブルインレット配管によってバイパス管状に接続し、かつ前記ダブルインレット配管に流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 8】 請求項 1 から 6 までのいずれかに記載のパルス管冷凍機において、蓄冷器の高温端側とパルス管の高温端側とをダブルインレット配管によってバイパス管状に接続し、かつ前記ダブルインレット配管に流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機。

【請求項 9】 請求項 1 から 8 までのいずれかに記載のパルス管冷凍機において、イナータンスチューブのパルス管に近い部位に、流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば超電導コイル冷却等に適用される蓄冷式のパルス管冷凍機に係り、特に位相制御機構として配管内のガスの慣性力を利用したイナータンスチューブ方式を採用したものであるにおいて、冷凍効率の向上を図ったパルス管冷凍機に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、この種のパルス管冷凍機として、例えば図 11 に示すように、コンプレッサ 1、蓄冷器 2、パルス管 3、イナータンスチューブ 4 およびバッファタンク 5 を順次に接続し、コンプレッサ 1 によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒（ガス）をバッファタンク 5 との間で往復動作させる間に冷熱を生じさせる構成のものが知られている。冷熱は、蓄冷器 2 の内部に設けられた図示しない蓄冷材に蓄えられ、蓄冷器 2 とパルス管 3 との接続部分である低温端に設けられる図示しないステージから冷却対象物である超電導コイル等に放出される。

【0003】 ところで、このようなパルス管冷凍機の構成においては、コンプレッサ 1 により、周期的な圧力振幅を持った冷媒ガスが蓄冷器 2 等の冷凍機内に周期的に流入出している。振動系との類似を考えた場合、図 11 のイナータンスチューブ 4 はマス（質量）となり、バッファタンク 5 はバネとなるので、パルス管 3 内のガスの移動量は、この振動系の特性に依存する。

【0004】 したがって、パルス管 3 内のガス変位の位

相が圧力に対して遅れることになり、蓄冷器2内の高温端（図11の左端）から低温端（同右端）に流れる仕事流が生じる。蓄冷器2の低温端の仕事とエンタルピーとの差が、低温端での冷凍能力になる。また、冷凍機の効率を高めるために（すなわち、少ない入力でガスを動かすために）、イナータンスチューブとバッファタンクで構成される振動系の共振周波数に近い周波数でコンプレッサによる圧力波を起こせばよい。

【0005】以下では、この構成の冷凍機を、電気回路と類似させて考える。すなわち、ガスの流れを電流、圧

力を電圧にそれぞれ対応させ、冷凍機の各部分が、電気回路的にどういう役割をするかを考える。

【0006】図11のイナータンスチューブ4はインダクタンス、バッファタンク5はキャパシタンスとなる。従来のイナータンスチューブ方式の構成では、パルス管3の高温端（図11の右端）のガス変位の絶対値 $y$ 、およびガス変位振動と圧力振動との位相差 $Arg$ は、それぞれ以下ようになる。

【0007】

【数1】

$$y = \frac{P_o}{\left[ r^2 + \left( m\omega - \frac{1}{c\omega} \right)^2 \right]^{1/2}} A\omega \quad \dots\dots (1)$$

【数2】

$$Arg = \frac{\pi}{2} + \sin^{-1} \left\{ \frac{\left( m\omega - \frac{1}{c\omega} \right)}{\left[ r^2 + \left( m\omega - \frac{1}{c\omega} \right)^2 \right]^{1/2}} \right\} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、バッファタンク5の容積を $V_o$ 、イナータンスチューブ4の断面積を $A$ 、軸方向長さを $l$ 、円周方向長さを $l_c$ 、冷媒の密度を $\rho$ 、平均圧力を $P_o$ 、比熱比を $\gamma$ 、速度境界層厚さを $d$ 、角速度を $\omega$ で表す。音響容量 $C$ 、イナータンス $m$ 、音響抵抗 $r$ を以下のように定義する。

【0008】

【数3】

$$C = \frac{V_o}{P_o \gamma} \quad \dots\dots (3)$$

【数4】

$$m = \frac{\rho l}{P_o \gamma} \quad \dots\dots (4)$$

【数5】

$$r = \frac{\mu l_c l}{\delta A^2} \quad \dots\dots (5)$$

【外1】

共振状態は振幅 $Y$ が最大になることを意味するので、(1)式の分母中の

$$\left( m\omega - \frac{1}{c\omega} \right) \text{を} 0 \text{とすると、共振周波数} f_c \text{は} f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{mc}} \text{となる。}$$

共振周波数に近い周波数で圧力を変動させれば、ガス変位 $y$ が非常に大きくなる。(1)式

より、変位を減らすためには、抵抗 $r$ を増やす必要がある。しかし、抵抗の増大と共に位相

差 $Arg$ が減少し、最適な位相差からずれ、得られる仕事小さくなる。

【0009】以上により、変位を最適化するために抵抗 $r$ を変化させると位相差 $Arg$ もずれ、位相差、変位が共に最適に調整することが困難である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上述のごとく、従来の

イナータンスチューブ方式では、共振周波数で位相制御を最適化させて運転させると、パルス管の高温端のガスの変位量が増大し、冷凍性能が低下する問題があった。そのため、位相差は最適化されたまま、ガス変位量を低下させることが必要であった。

【0011】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、パルス管に流れ込むガス流量を減少させ、コンプレッサ仕事を低減することにより、冷凍効率が最大になることが可能なパルス管冷凍器を提供することを目的とする。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するために、本発明はパルスチューブ高温端のガス流量を抑えるイナータンスチューブの構造を改良し、それによりイナータンスチューブを用いて十分に位相制御を行い、かつ冷凍性能を向上できるようにするものである。

【0013】すなわち、請求項1の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブの途中からセカンドイナータンスチューブを分岐させるとともに、このセカンドイナータンスチューブに前記バッファタンクとは別のセカンドバッファタンクを接続したことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0014】請求項2の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブの途中からセカンドイナータンスチューブを分岐させるとともに、このセカンドイナータンスチューブを前記バッファタンクに前記イナータンスチューブとは別経路として接続し、かつ前記セカンドイナータンスチューブに流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0015】請求項3の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管および先端が閉塞したイナータンスチューブを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記イナータンスチューブの閉塞端との間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブの途中から、1本又は2本以上の先端が閉塞した他のイナータンスチューブを分岐させたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0016】請求項4の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブは、段階的にパルス管に近い側ほど断面積の小さい配管構成としたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0017】請求項5の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブは、連続的にパルス管に近い側ほど断面積の小さいテーパ状の配管としたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0018】請求項6の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管および先端が閉塞したイナータンスチューブを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記イナータンスチューブの閉塞端との間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記イナータンスチューブは、段階的または連続的にパルス管に近い側ほど断面積の小さい配管としたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0019】請求項7の発明では、コンプレッサ、蓄冷器、パルス管、イナータンスチューブおよびバッファタンクを順次に接続し、前記コンプレッサによって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスを前記バッファタンクとの間で往復動作させる間に冷熱を生じさせるパルス管冷凍機において、前記蓄冷器の高温端側と前記パルス管の高温端側とをダブルインレット配管によってバイパス管状に接続し、かつ前記ダブルインレット配管に流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0020】請求項8の発明では、請求項1から6までのいずれかに記載のパルス管冷凍機において、蓄冷器の高温端側とパルス管の高温端側とをダブルインレット配管によってバイパス管状に接続し、かつ前記ダブルインレット配管に流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

【0021】請求項9の発明では、請求項1から8までのいずれかに記載のパルス管冷凍機において、イナータンスチューブのパルス管に近い部位に、流量調整用のバルブを設けたことを特徴とするパルス管冷凍機を提供する。

#### 【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るパルス管冷凍機の実施形態を図1～図10を参照して説明する。なお、従来の構成と同一または対応する部分については、図11に示したものと同一の符号を使用して説明する。

#### 【0023】第1実施形態 (図1、図2)

図1は本発明の第1実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0024】このパルス管冷凍機では基本的に、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3、イナータンスチューブ4およびバッファタンク5が順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガ

スがバッファタンク5との間で往復動作する間に冷熱が生じる構成となっている。

【0025】このような構成において、イナータンスチューブ4の途中から第2のイナータンスチューブ、すなわちセカンドイナータンスチューブ6を分岐させるとともに、このセカンドイナータンスチューブ6にバッファタンク5とは別の第2のバッファタンク、すなわちセカンドバッファタンク7を接続した構成となっている。

【0026】また、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位に、流量調整用のバルブ8が設けられ、イナータンスチューブ4における冷媒（ガス）Uの流量を調整できるようになっている。

【0027】次に、図2も参照して作用を説明する。図2は、本実施形態による位相制御系の等価電気回路を示したものである。

【0028】この図2においては、パルス管高温端Aの圧力波を交流電源Pとし、図1のイナータンスチューブ部分AB、BC、BDそれぞれを抵抗とインダクタンスの組み合わせとして（ $r$ 、 $m$ ）、（ $r_1$ 、 $m_1$ ）、（ $r_2$ 、 $m_2$ ）とし、2つのバッファタンクのキャパシタンスを各々C1とC2として示す。

【0029】この回路図の右側ループには、インダクタンスとキャパシタンスが含まれるLC回路のために固有の共振周波数がある。この共振周波数に近い運転周波数に圧力波Pが設定された場合、右側ループは共振し、図1の構成においては、イナータンスチューブ4内の冷媒Uが、セカンドイナータンスチューブ4の分岐点から先では、図1にU1、U2で示すように、主にバッファタンク5とセカンドバッファ7との間に往復するようになる。

【0030】このように、本実施形態によれば、パルス管3の高温端と1つのバッファタンク5とがイナータンスチューブ4によって連結されており、さらにこのイナータンスチューブ4の途中から別のバッファであるセカンドバッファタンク7が分岐し、このセカンドバッファタンク7にセカンドイナータンスチューブ6を介して導入される。そして、このセカンドバッファタンクに冷媒が流れることで、パルス管3の高温端入り口Aを通過する冷媒の流量が調整され、最適な位相制御と最適な冷媒の振幅を同時に満たすことが可能となる。

【0031】したがって、本実施形態によれば、パルス管高温端Aに流れ込むガス流量を調整することができ、それによりコンプレッサ仕事を低減し、冷凍効率を最大にすることが可能となる。

#### 【0032】第2実施形態（図3）

図3は本発明の第2実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0033】このパルス管冷凍機も基本的には第1実施形態と同様に、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3、イナータンスチューブ4およびバッファタンク5が

順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスがバッファタンク5との間で往復動作する間に冷熱が生じる構成となっている。なお、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位には、流量調整用のバルブ8が設けられている。

【0034】そして、本実施形態においては、イナータンスチューブ4の途中からセカンドイナータンスチューブ9が分岐するとともに、このセカンドイナータンスチューブ9がバッファタンク5にイナータンスチューブ4とは別経路として接続され、このセカンドイナータンスチューブ9に流量調整用のバルブ10が設けられている。

【0035】このような本実施形態の構成においては、セカンドイナータンスチューブ9に設けられた流量調整用のバルブ10を全閉とした場合、そのセカンドイナータンスチューブ9の先端であるバルブ10部分が閉塞した状態となり、前述した第1実施形態（図1）のセカンドバッファ7と同様の機能を得ることができる。

【0036】したがって、本実施形態によれば、セカンドイナータンスチューブ9を使用して、バルブ開閉によって冷媒流量を調整するで、2次回路の共振周波数の調整を行うことができ、第1実施形態と同様に、イナータンスチューブ4内の冷媒Uを図3にU1、U2で示すように、主にバッファタンク5とバルブ10との間に往復させることができ、パルス管3の高温端入り口Aを通過する冷媒の流量が調整され、最適な位相制御と最適な冷媒の振幅を同時に満たすことが可能となる。

【0037】このように、本実施形態によっても、パルス管高温端Aに流れ込むガス流量を調整することができ、それによりコンプレッサ仕事を低減し、冷凍効率を最大にすることが可能となる。

#### 【0038】第3実施形態（図4）

図4は本発明の第3実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0039】このパルス管冷凍機は前記第1、第2実施形態と異なり、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3および先端が閉塞したイナータンスチューブ4が順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスがイナータンスチューブ4の閉塞端との間で往復動作する間に冷熱が生じる構成となっている。すなわち、本実施形態では前述した第1、第2実施形態のバッファタンクを使用せず、イナータンスチューブ4の閉塞端でバッファ機能を得ようになっている。なお、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位には、流量調整用のバルブ8が設けられている。

【0040】そして、本実施形態においては、イナータンスチューブ4の途中から、1本又は2本以上の先端が閉塞した他のイナータンスチューブ11が分岐した構成となっている。なお、これらのイナータンスチューブ4、11はバッファ機能を得るために十分な長さを有す

るものとなっている。

【0041】本実施形態によれば、分岐したイナータンスチューブ4、11閉塞した端部によって前述した各実施形態同様の機能を得ることができる。

【0042】したがって、本実施形態によっても2次回路の共振周波数の調整を行うことができ、イナータンスチューブ4内の冷媒Uを図4にU1、U2で示すように、主に往復動させることができ、パルス管3の高温端入り口Aを通過する冷媒の流量調整、ひいては最適な位相制御と最適な冷媒の振幅を同時に満たすことが可能となる。

【0043】このように、本実施形態によっても、パルス管高温端Aに流れ込むガス流量を調整することができ、それによりコンプレッサ仕事を低減し、冷凍効率を最大にすることが可能となる。

#### 【0044】第4実施形態（図5、図6）

図5は本発明の第4実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0045】このパルス管冷凍機は基本的に、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3、イナータンスチューブ4およびバッファタンク5が順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスがバッファタンク5との間で往復動作する間に冷熱を生じる構成となっている。

【0046】このものにおいて、イナータンスチューブ4は、段階的にパルス管3に近い側ほど断面積の小さい配管構成となっている。すなわち、本実施形態ではイナータンスチューブ4がパルス管3側から見て径が順次に大きくなる3種類の径の管要素4a、4b、4cが接続された構成となっている。また、各管要素4a、4b、4cの長さは、それぞれ所定の値とされている。これにより、各管要素4a、4b、4cにおいては、それぞれ異なるイナータンス $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ および音響抵抗 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ がそれぞれ設定されている。なお、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位には、流量調整用のバルブ8が設けられている。

【0047】図6は、本実施形態におけるパルス管冷凍機と等価な電気回路を示している。この電気回路において、抵抗およびインダクタンスを図5に対応して、それぞれ $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 、 $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ で示している。この回路に流れる電流Uは、イナータンスチューブ4に流れる体積速度に相当するものであり、ガス速度vとの関係は、 $v=U/A$ で表される。

【0048】ここでAはパイプ断面積である。断面積Aの小さいパルス管3の高温端では速度が大きくなる。断面積Aが小さいため、式(1)により、パルス管高温端での変位が多くなる。一方、複数の断面積を持つイナータンスチューブ4の抵抗rは、全長に亘って一定断面積Aのイナータンスチューブを使用した場合の抵抗より低いので、式(1)より位相差はさほど変化しない。

【0049】以上のように、本実施形態によれば、複数の断面積を持つイナータンスチューブ4(4a、4b、4c)を用いることにより、位相差は最適化されたまま、冷媒の変位を減少することができる。

#### 【0050】第5実施形態（図7）

図7は本発明の第5実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0051】このパルス管冷凍機も第4実施形態と同様に、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3、イナータンスチューブ4およびバッファタンク5が順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスをバッファタンク5との間で往復動作する間に冷熱が生じる構成となっているが、図5に示した複数の断面積を持つイナータンスチューブ4(4a、4b、4c)に代え、一つのイナータンスチューブ4自体を、連続的にパルス管3に近い側ほど断面積の小さくなるテーパ状の配管として構成してある。なお、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位には、流量調整用のバルブ8が設けられている。

【0052】このような構成の本実施形態によっても、テーパ付きイナータンスチューブ4によって、流路断面積を変化させることができるので、第4実施形態と同様の効果を得ることができる。

#### 【0053】第6実施形態（図8）

図8は本発明の第6実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0054】このパルス管冷凍機は第3実施形態と同様に、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3および先端が閉塞したイナータンスチューブ4が順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスがイナータンスチューブの閉塞端との間で往復動作する間に冷熱が生じる構成となっている。

【0055】このような構成において、本実施形態では第5実施形態と同様に、イナータンスチューブ4が、連続的にパルス管3に近い側ほど断面積が小さいテーパ状の長い1本の配管として構成されている。なお、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位には、流量調整用のバルブ8が設けられている。

【0056】本実施形態によっても、バッファ機能がイナータンスチューブ4の閉塞端によって得られる以外は第6実施形態と同様であり、前記同様の効果が奏される。

#### 【0057】第7実施形態（図9、図10）

図9は本発明の第7実施形態によるパルス管冷凍機の構成を概略的に示している。

【0058】このパルス管冷凍機は基本的に、コンプレッサ1、蓄冷器2、パルス管3、イナータンスチューブ4およびバッファタンク5が順次に接続され、コンプレッサ1によって周期的な圧力振幅が与えられた冷媒ガスがバッファタンク5との間で往復動作する間に冷熱が生

じる構成となっている。なお、イナータンスチューブ4のパルス管3に近い部位には、流量調整用のバルブ8が設けられている。

【0059】このものにおいて、蓄冷器2の高温端（左端）側とパルス管3の高温端（右端）側とが、ダブルインレット配管12によってバイパス管状に接続され、かつダブルインレット配管12には流量調整用のバルブ

（ダブルインレットバルブ）13が設けられている。なお、本実施形態においては、ダブルインレット配管12が接続される蓄冷器高温端側は、コンプレッサ1と蓄冷器2とを接続する放熱管14とされている。この放熱管14は周囲空気との熱交換により冷媒ガスの放熱を行うものである。

【0060】このような本実施形態の構成においては、放熱管14からダブルインレット配管12を介してパルス管3の高温端側に圧縮冷媒ガスが逆流として供給され（流量 $U_2$ ）、これによりパルス管3に流れる冷媒流量 $U_1$ に対する抵抗が与えられる。この抵抗の値は、バルブ13の開度操作によって調整することができる。

【0061】図10は、本実施形態におけるパルス管冷凍機と等価な電気回路を示している。この電気回路において、蓄冷器2の流路抵抗に相当する抵抗を $r_{reg}$ で示し、蓄冷器2およびパルス管3に相当するインダクタンスをそれぞれ $m_{reg}$ 、 $m_{PT}$ で示している。この回路に流れる電流 $U_1$ は、イナータンスチューブ4に流れる体積速度に相当するものであり、また電流 $U_2$ はダブルインレット配管12に流れる堆積速度に相当するものである。さらに、バルブ13に相当する可変抵抗を $V_1$ で示してある。

【0062】この図10からも明らかなように、本実施形態においては、 $V_1$ の抵抗を調整することによって、パルス管3に流れる流量を（ $U_1 - U_2$ ）として調整することができる。すなわち、 $V_1$ を開くほど、流量は減る傾向となる。

【0063】したがって、本実施形態によれば、パルス管3の高温端に圧縮冷媒を逆流として導入し、配管に流れ込むガス流量の調整するものである。つまり、イナータンスチューブ方式の位相制御に、ダブルインレット位相制御方式を併用した構成とすることにより、前記各実施形態と同様に、パルス管3の高温端のガス振幅を低減することができ、これによりパルス管3の高温端ガス変位の低減を図ることが可能となる。

#### 【0064】他の実施形態

なお、本発明は以上の実施形態に限られるものではなく、例えば図1、3、4、5、7、8にそれぞれ示した構成に対し、図9に示したダブルインレット配管を付加したものとして実施することも可能である。

【0065】また、各実施形態においてイナータンスチューブ4に流量調整用のバルブ8を設けたが、これは管長調整等によって省略することも可能である。

【0066】その他、各実施形態の要素の種々組合せ等、冷媒ガス流量の調整が可能な種々の構成として実施することができる。

#### 【0067】

【発明の効果】以上で詳述したように、本発明によれば、パルス管に流れ込むガス流量を減少し、コンプレッサ仕事を低減することにより、パルス管冷凍器の冷凍効率を最大とすることが可能となる等の優れた効果が奏される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係るパルス管冷凍機を示す概略構成図。

【図2】図1の構成の冷凍機と等価な電気回路を示す回路図。

【図3】本発明の第2実施形態に係るパルス管冷凍機を示す概略構成図。

【図4】本発明の第3実施形態に係るパルス管冷凍機を示す概略構成図。

【図5】本発明の第4実施形態に係るパルス管冷凍機を示す略構成図。

【図6】図5の構成の冷凍機と等価な電気回路を示す回路図。

【図7】本発明の第5実施形態に係るパルス管冷凍機を示す概略構成図。

【図8】本発明の第6実施形態に係るパルス管冷凍機を示す概略構成図。

【図9】本発明の第7実施形態に係るパルス管冷凍機を示す概略構成図。

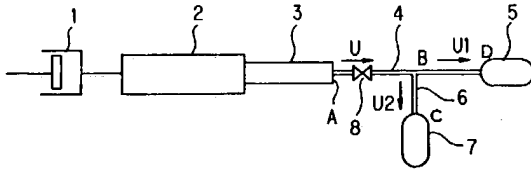
【図10】図9の構成の冷凍機と等価な電気回路を示す回路図。

【図11】従来のイナータンスチューブ方式のパルス管冷凍機を示す概略構成図。

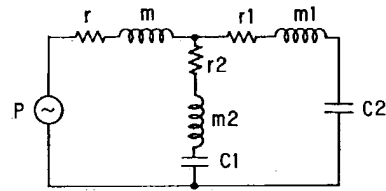
#### 【符号の説明】

- 1 コンプレッサ
- 2 蓄冷器
- 3 パルス管
- 4 イナータンスチューブ
- 5 バッファタンク
- 6, 9, 11 セカンドイナータンスチューブ
- 7 セカンドバッファタンク
- 8, 10 流量調整用のバルブ
- 12 ダブルインレット配管
- 13 ダブルインレットバルブ

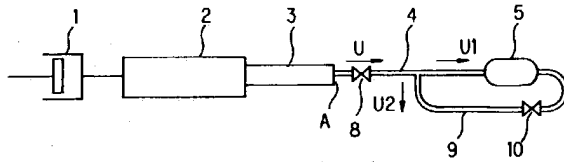
【図 1】



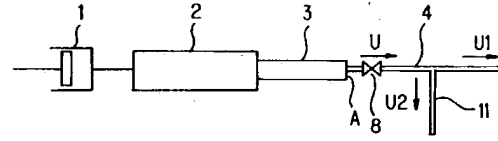
【図 2】



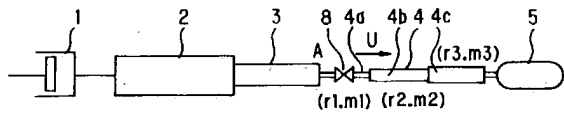
【図 3】



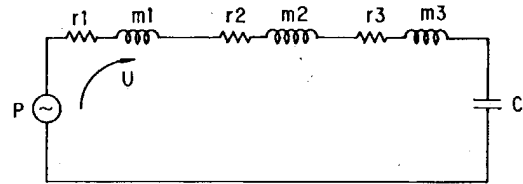
【図 4】



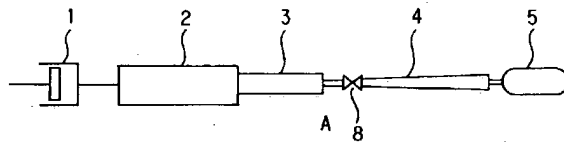
【図 5】



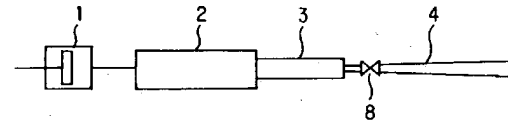
【図 6】



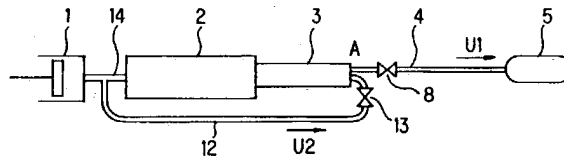
【図 7】



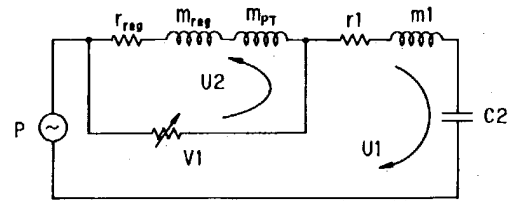
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

